

Aspectos temporales de la visión

PERCEPCIÓN VISUAL

Tema 12

Profesora María Cinta Puell
Grado Óptica y Optometría



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
MADRID

Febrero 2020

Contenido

- Introducción
- Sensibilidad a los cambios temporales en el contraste
 - Características de la rejilla de onda sinusoidal temporal
 - Función de sensibilidad al contraste temporal
- Frecuencia crítica de fusion
 - Efecto de la iluminación retiniana en la FCF: ley de Ferry-Porter
 - Efecto del área del estímulo en la FCF: ley de Granit-Harper
- Fases de la evolución de la sensación luminosa

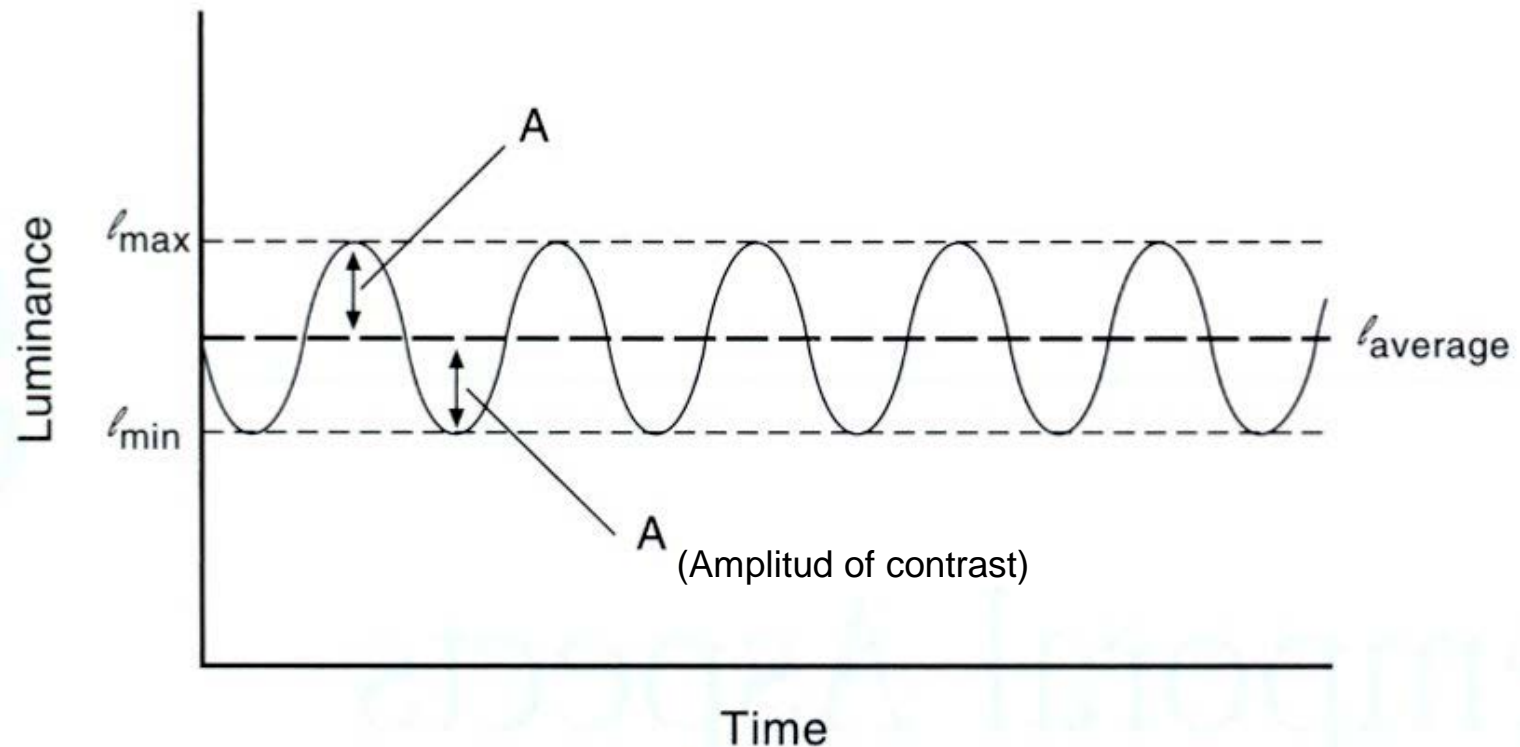
Aspectos temporales de la visión

- Habilidad del sistema visual para procesar los cambios temporales en la imagen retiniana (p.e. cambios en la luminancia a lo largo del tiempo)
- Tareas y técnicas para medir la capacidad de resolución temporal del sistema visual:
 - **Función de sensibilidad al contraste temporal (TCSF)**
 - **Frecuencia crítica de fusión del parpadeo (FCF)**
- La visión temporal está estrechamente relacionada con la percepción del movimiento.
- La vía visual retinocortical **magno** juega un papel clave en la codificación de la información temporal y de movimiento.

Función de sensibilidad al contraste temporal (TCSF)

- **Sensibilidad de contraste:** contraste mínimo para discriminar una fuente de luz parpadeando y no estable (continua).
- Estímulos: **rejillas de ondas sinusoidales temporales**
 - Cambio sinusoidal de la luminancia en el tiempo.
 - Contraste
 - Frecuencia temporal

Rejilla sinusoidal temporal: luminancia



Luminancia modulada de manera sinusoidal a lo largo del tiempo

Por ejemplo: una pantalla de ordenador que se enciende y apaga con variación sinusoidal en el curso del tiempo

Rejilla sinusoidal temporal: contraste

Amplitud de contraste

Contraste bajo

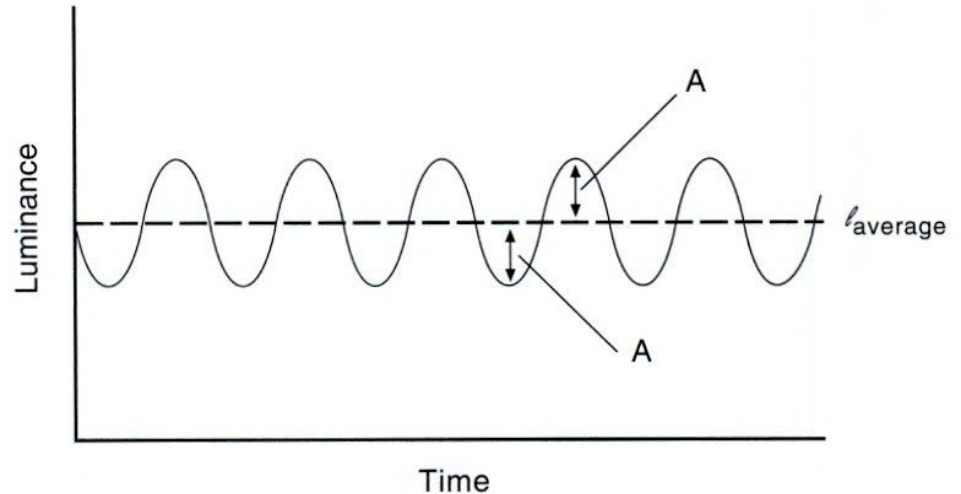
El estímulo se percibe estable
(no se resuelve), no se nota
parpadeo o fluctuación

$$C = \frac{\Delta L}{L_m}$$

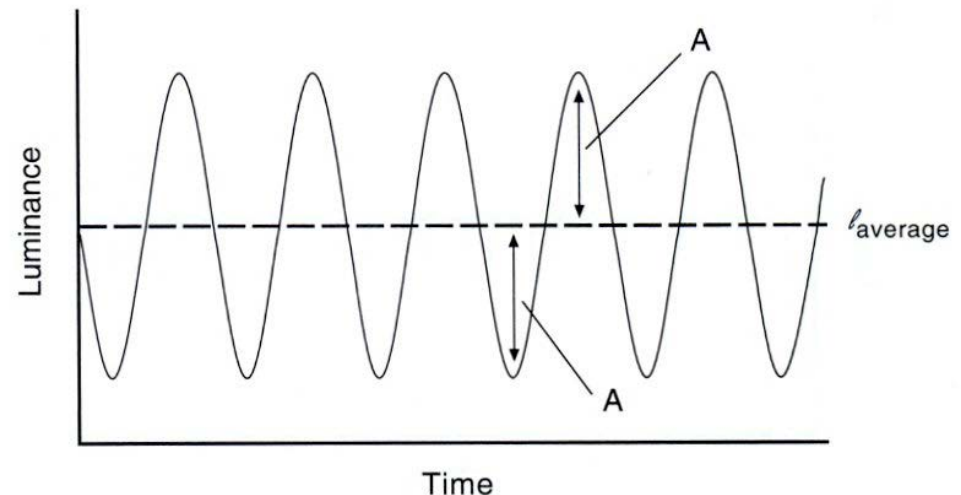
L_m = L promedio en el tiempo

Contraste alto

El estímulo se ve fluctuar o
parpadear (se resuelve)



Estímulos con igual luminancia media



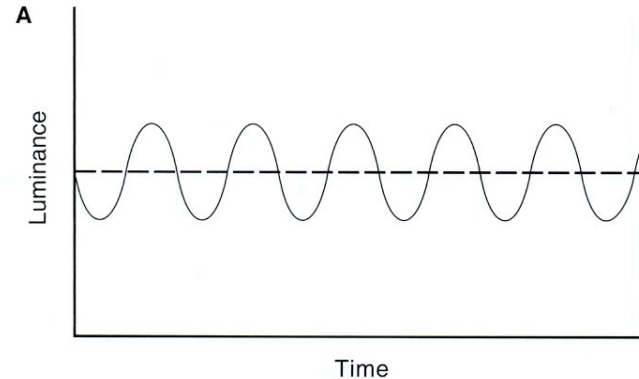
Rejilla sinusoidal temporal: frecuencia

Frecuencia temporal

1 Hz = 1 ciclo / segundo

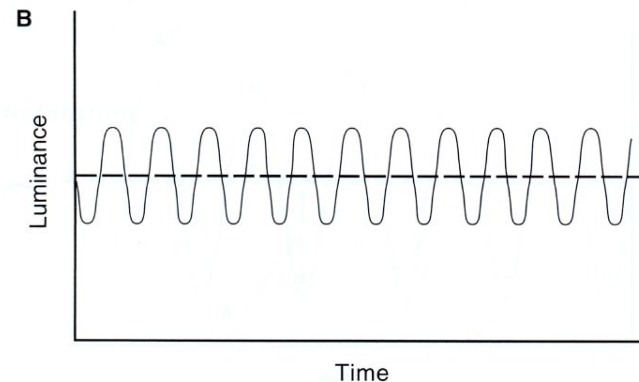
Frecuencia temporal baja

Velocidad de fluctuación baja



Frecuencia temporal alta

Velocidad de fluctuación alta

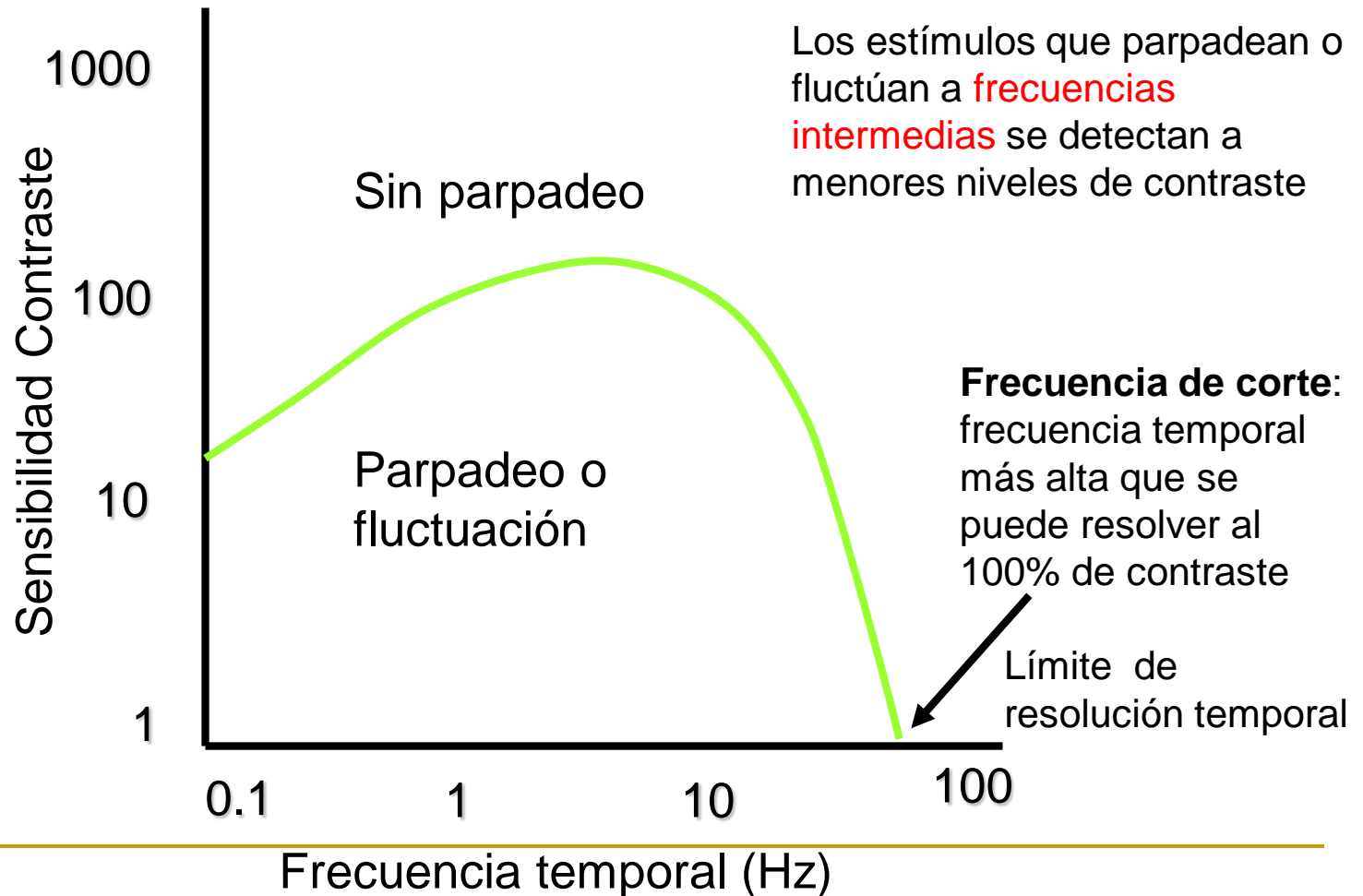


Se puede construir un estímulo temporal complejo mediante la combinación apropiada de sinusoides temporales (Análisis de Fourier)

Función de sensibilidad al contraste temporal

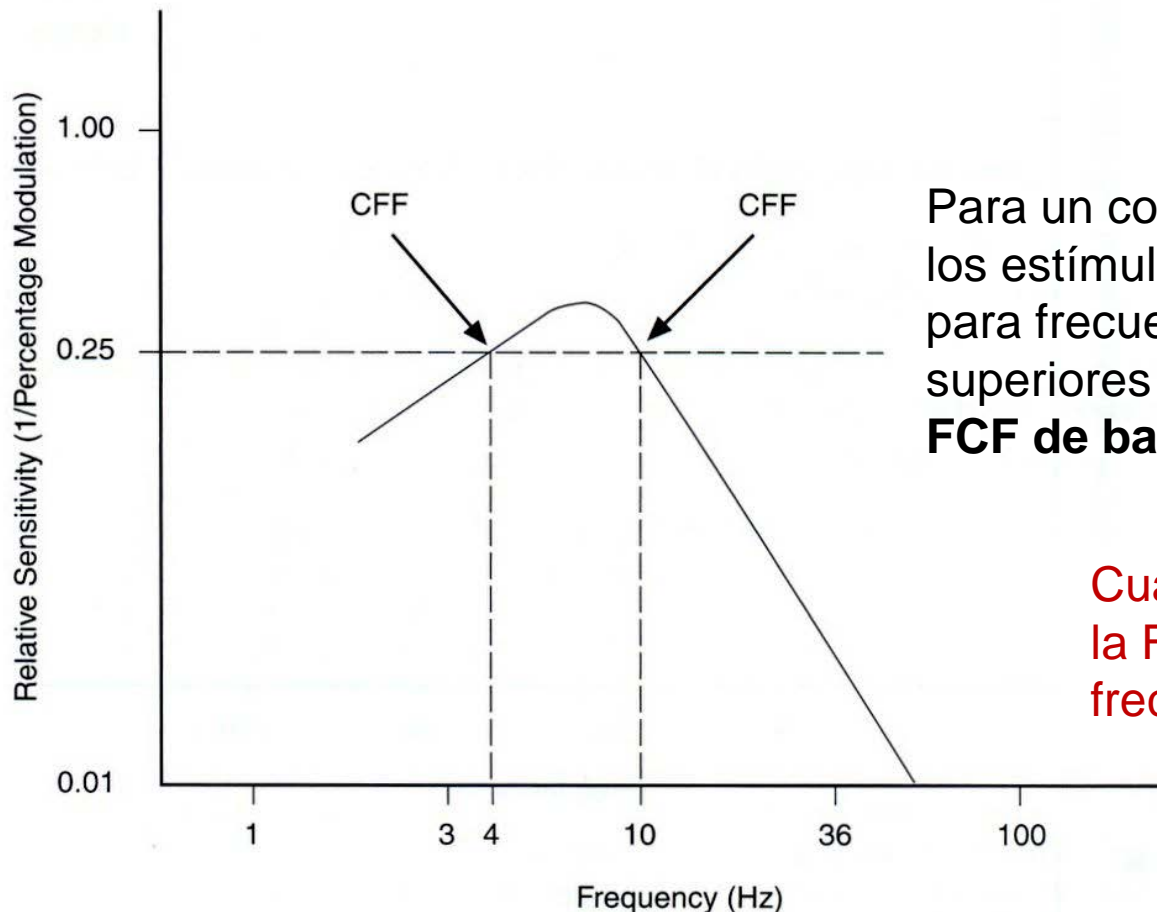
TCSF: forma de pasa - banda, **sensibilidad máxima** a frecuencias moderadas y **mínima** a frecuencias temporales bajas y altas

Umbral de contraste:
menor
contraste al
que se
detecta la
fluctuación.



CSF temporal y frecuencia crítica de fusión (FCF)

FCF: frecuencia temporal más alta o más baja en la que el estímulo **ya** no se puede resolver (sin fluctuación) para un porcentaje de contraste determinado.



Para un contraste del 4% ($\frac{1}{4} = 0,25$) los estímulos se perciben estables para frecuencias inferiores a 4 Hz y superiores a 10 Hz

FCF de baja y alta frecuencia

Cuando no se especifica, la FCF se refiere a la frecuencia temporal alta

CSF Temporal y Glaucoma

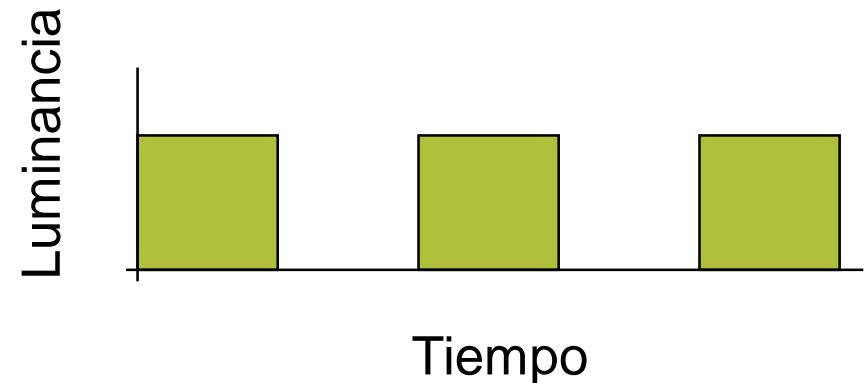
- **Glaucoma:** una gran mayoría de las células ganglionares ya están dañadas cuando aparecen los primeros defectos del campo visual.
- Las células ganglionares magno son las más dañadas.
- La vía magno codifica frecuencias temporales altas .
- Los pacientes con glaucoma sufren pérdidas de sensibilidad a frecuencias temporales altas.
- Ayuda en el diagnóstico temprano del glaucoma
 - Medida de la TCSF
 - Campo visual: **perimetría FDT**

Frecuencia crítica de fusión del parpadeo (FCF)

Frecuencia del estímulo

- 1 destello por segundo,
 - se percibe alternancia entre fases luminosas y oscuras
- 15 destellos por segundo
 - El estímulo fluctúa o «parpadea»
- 40 destellos por segundo
 - El estímulo parece continuo

Estímulos luminosos intermitentes



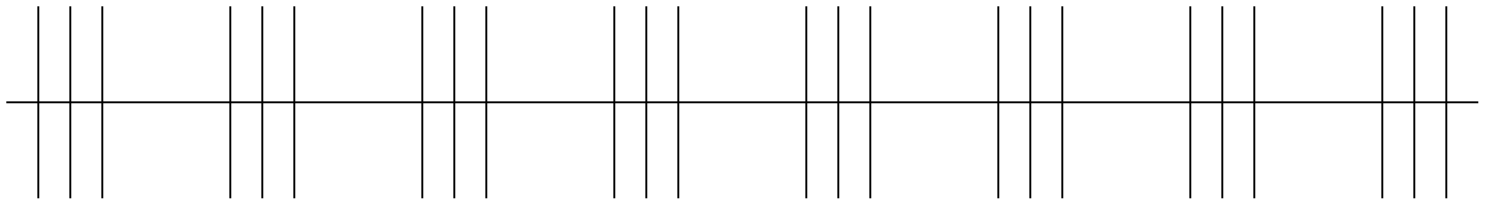
A medida que aumenta la frecuencia temporal, se alcanza una **frecuencia** en la que ya no se puede resolver el parpadeo y el estímulo parece constante: **frecuencia crítica de fusión del parpadeo (FCF)**

Luz



Fluctuación

Respuesta

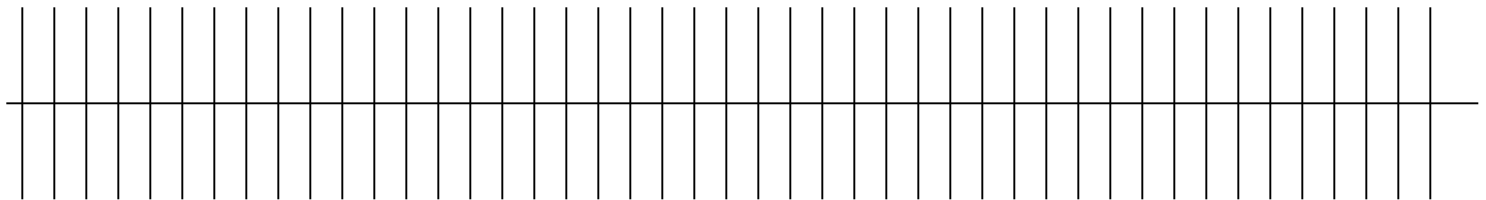


Luz



Sin fluctuación

Respuesta



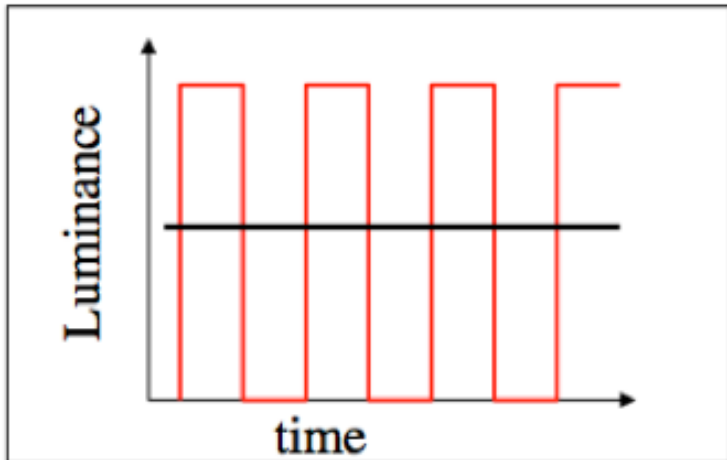
Frecuencia crítica de fusión (FCF)

- La FCF es la frecuencia temporal más alta (ciclos/s) a la que se deja de percibir variación de luminancia o fluctuación y el estímulo se ve continuo o estable.
- Es el límite de resolución temporal para un contraste dado.
- Implicaciones prácticas de la fusión del parpadeo
 - Bombillas
 - La luz emitida por las bombillas está modulada temporalmente (50 - 60 Hz).
 - Esta frecuencia es superior a la FCF y no se detecta el parpadeo
 - Cine (24 imágenes/segundo)
 - TV

FCF Fotopica: 40 - 60 Hz
FCF Escotopica: 5-10 Hz

Ley Talbot-Plateau

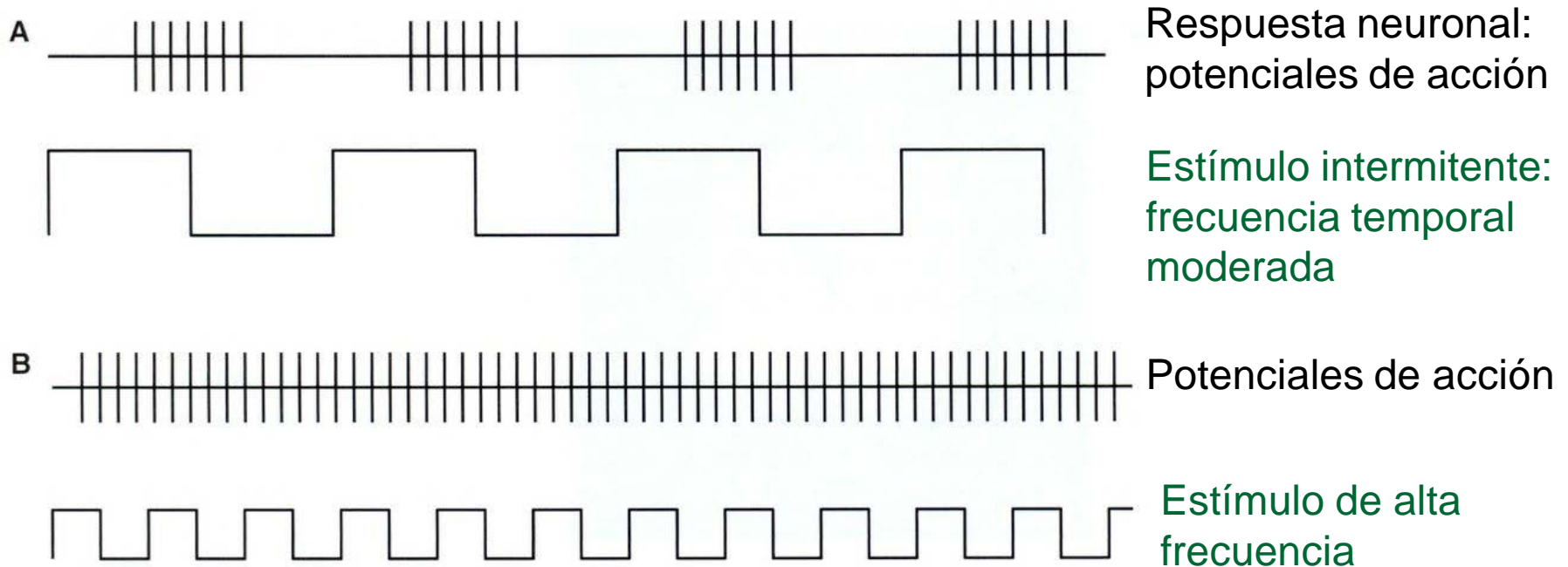
- La **ley de Talbot-Plateau** describe el brillo de una fuente de luz intermitente que tiene una frecuencia por encima de la FCF.
- El brillo de un estímulo modulado temporalmente es igual al brillo de una luz fija de la misma luminancia promedio.



La sensación de brillo de la fuente de luz intermitente es la misma que si la luz percibida durante los distintos períodos de estimulación se hubiera distribuido uniformemente durante todo el tiempo.

Fusión del parpadeo

El **umbral de fusión** del parpadeo está relacionado con la **persistencia** de la visión.



- A) La neurona es capaz de resolver el estímulo de frecuencia moderada.
- B) La respuesta de la neurona no permite la resolución temporal del estímulo de frecuencia alta.

Factores con influencia en la FCF

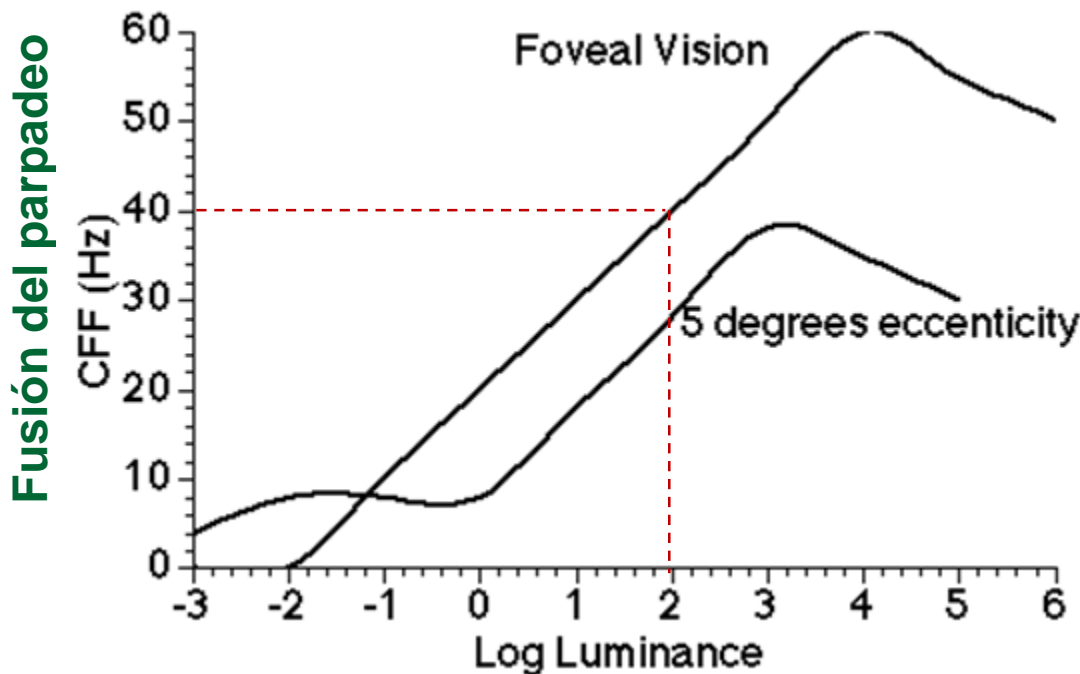
- Luminancia del estímulo
- Tamaño del estímulo
- Color del estímulo
- Otros

Efecto de la luminancia en la FCF

Ley de ferry-Porter

$$\text{F.C.F.} = a \log L_m + b$$

La FCF aumenta linealmente con el log de la luminancia del estímulo intermitente (L)



Conforme aumenta la intensidad del estímulo, la percepción de la fluctuación o parpadeo también aumenta y mayor deberá ser la frecuencia para conseguir la fusión.

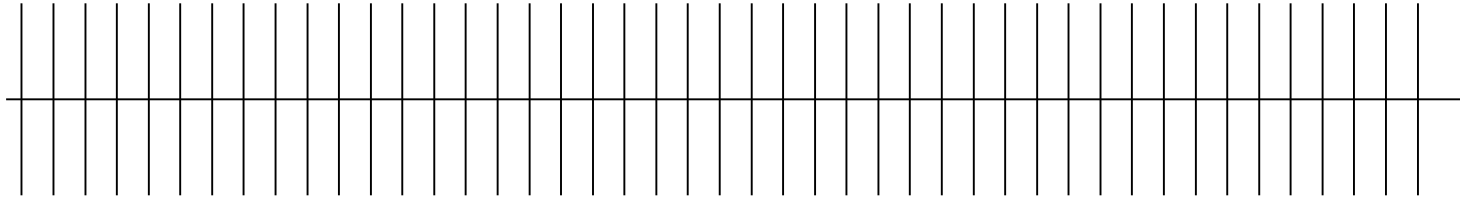
Si una pantalla parpadea al disminuir el nivel de intensidad se elimina el parpadeo.

Luz



Sin fluctuación

Respuesta

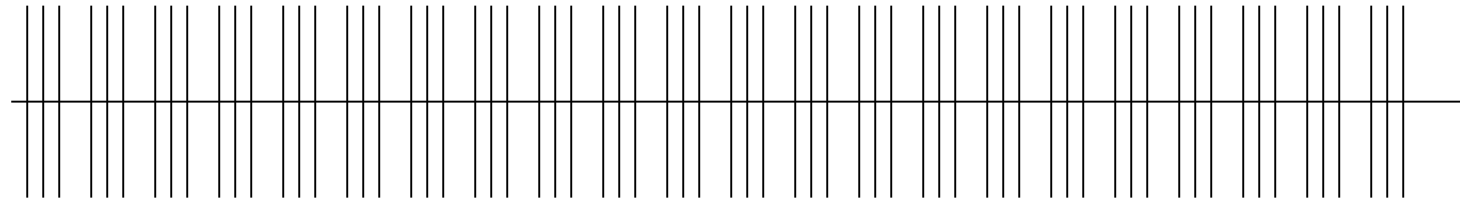


Luz



Fluctuación

Respuesta

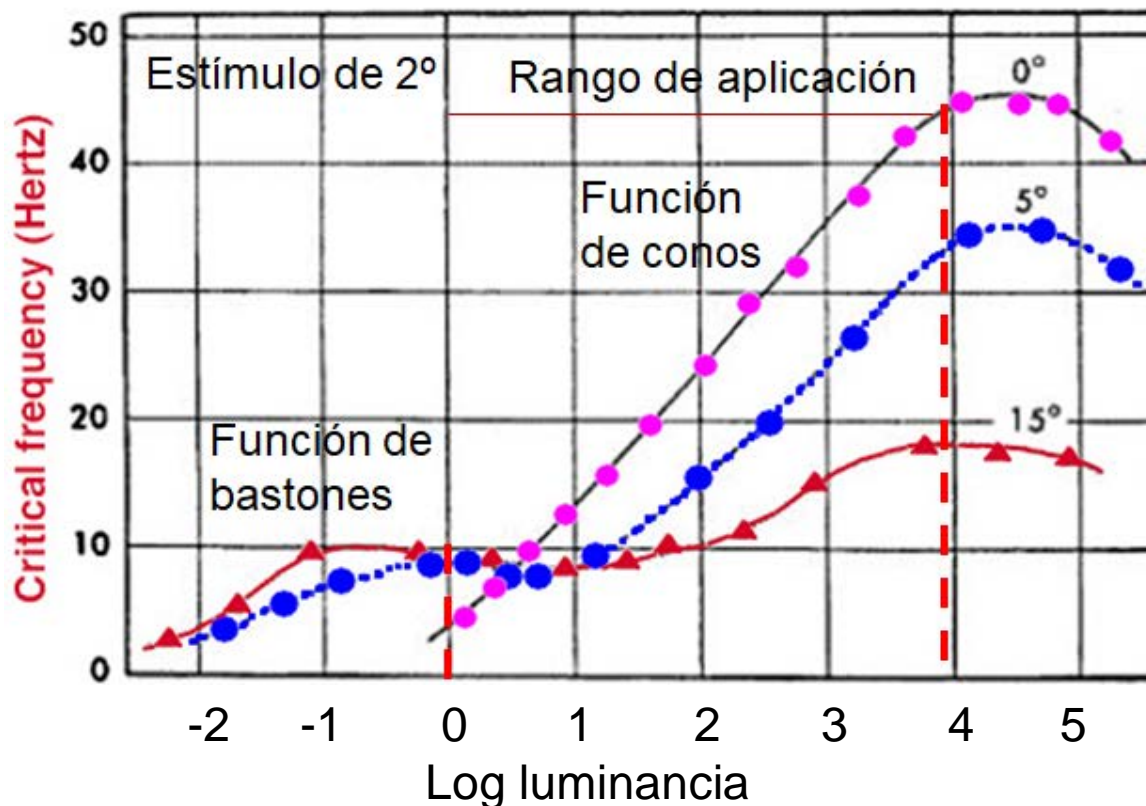


La frecuencia de los potenciales de acción está relacionada con el log de la iluminación retiniana

Efecto de la luminancia en la FCF

Ley de ferry-Porter y posición retiniana

Observación foveal: la ley Ferry-Porter se mantiene en un amplio rango de luminancia. Curva con una sola rama (conos fóvea).



Observación extrafoveal (5° y 15°): función con dos ramas (conos y bastones).

La Ley Ferry-Porter se aplica en un rango decreciente de luminancia a medida que aumenta la excentricidad.

La resolución temporal es peor para las posiciones excéntricas

Visión fotópica: la FCF es mayor en la fóvea que en la periferia

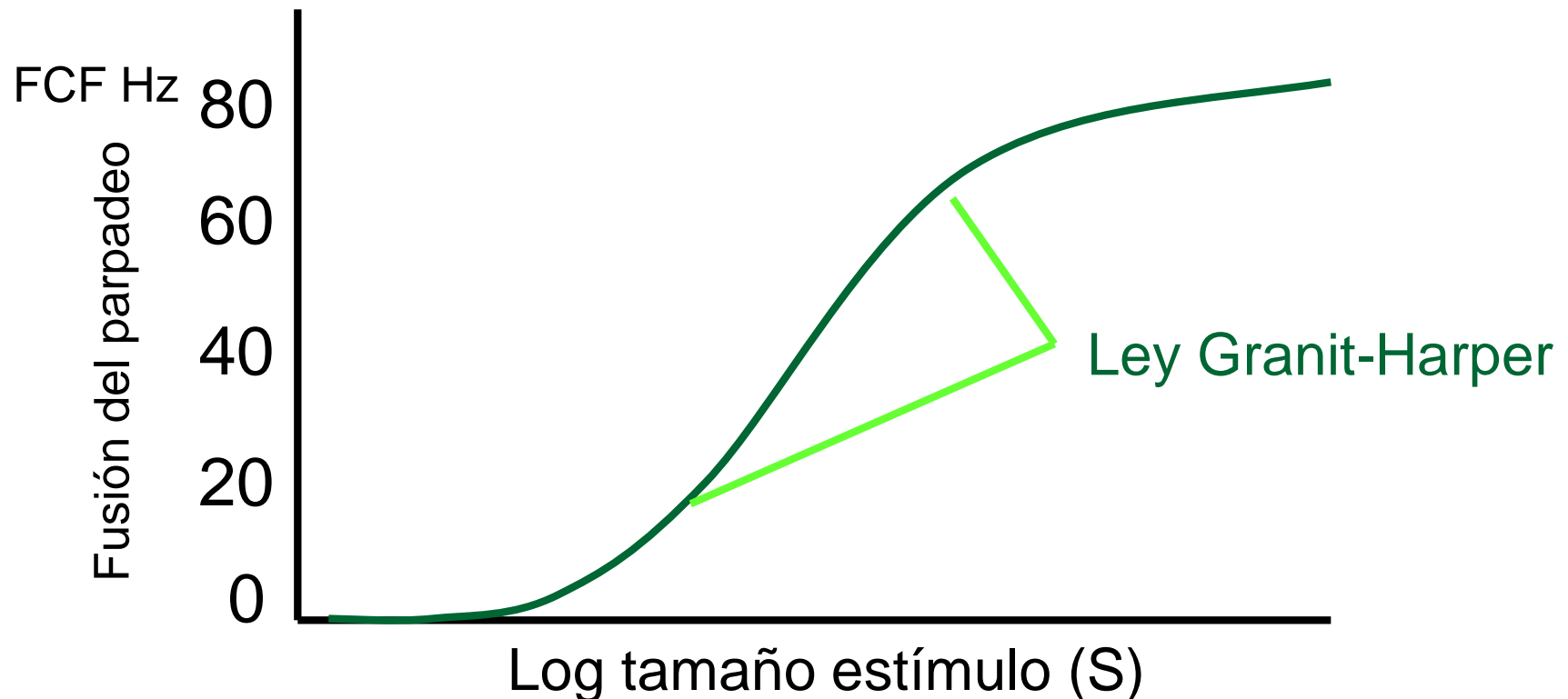
Visión escotópica: la FCF es mayor en la periferia que en la fóvea

Efecto del tamaño del estímulo en la FCF

Ley de Granit-Harper $FCF = a \text{ Log } S + b$

La FCF aumenta con el log del área de estímulo (tamaño)

Es más probable que se perciba parpadeo si el estímulo es grande



Efecto del tamaño del estímulo en la FCF

Es más probable que se perciba el parpadeo si el estímulo es grande y estimula la retina periférica (FCF mayor)

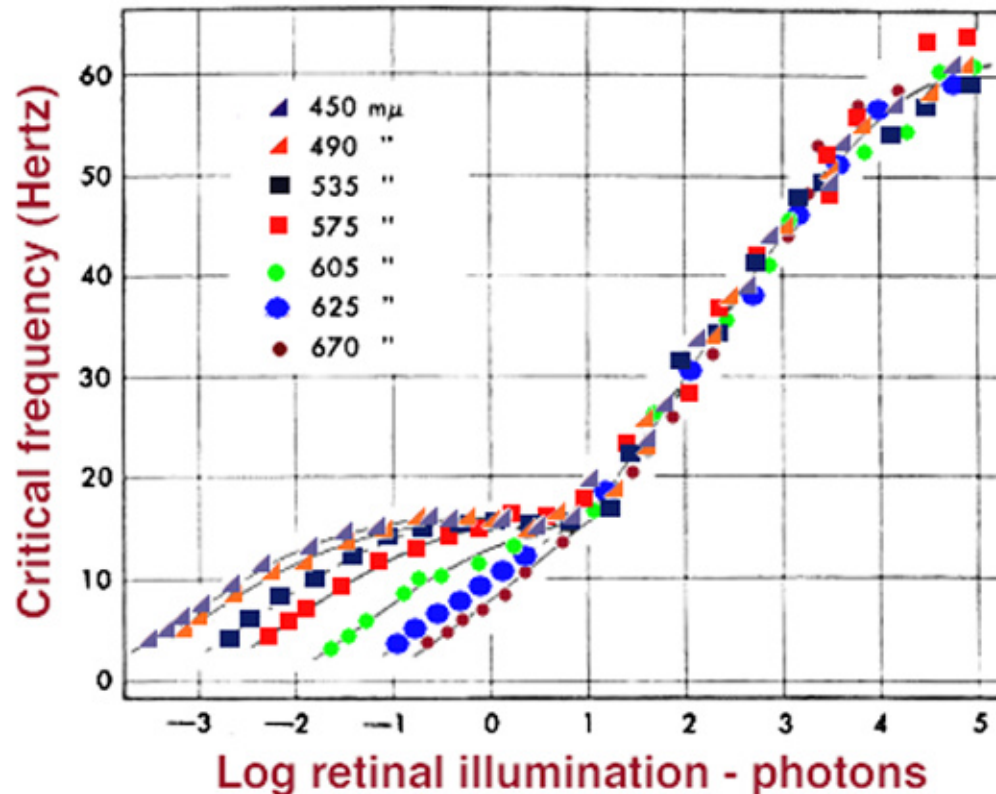
- Sistema **magnocelular** o vía fisiológica "donde"
 - ❑ Predomina en retina periférica
 - ❑ Detecta mejor el movimiento o parpadeo que el sistema parvo
 - ❑ Detecta alteraciones temporales de frecuencia alta: resolución temporal elevada
 - ❑ Resolución espacial pobre
- Sistema **parvocelular** o vía fisiológica "que"
 - ❑ Predomina en fovea
 - ❑ Resolución temporal pobre
 - ❑ Resolución espacial elevada: identificación del estímulo

Las pantallas de ordenador antiguas que aparecen estables cuando se observan en visión central, parecen parpadear en la periferia.

Efecto del color del estímulo en la FCF

En **niveles fotópicos**, luces de diferentes longitudes de onda siguen la ley de Ferry-Porter y la FCF es independiente de la longitud de onda.

En **niveles escotópicos**, la FCF disminuye cuando aumenta la longitud de onda



Otros factores que influyen en la FCF

■ Relación de fases

- La FCF es mayor cuando las fases de luz y oscuridad son iguales
- La FCF es menor cuando predomina una de las fases

■ Localización retiniana

- La FCF depende de la proporción relativa de conos y bastones en el área estimulada y de su grado de activación en función de la iluminación de la retina

■ Diámetro pupilar

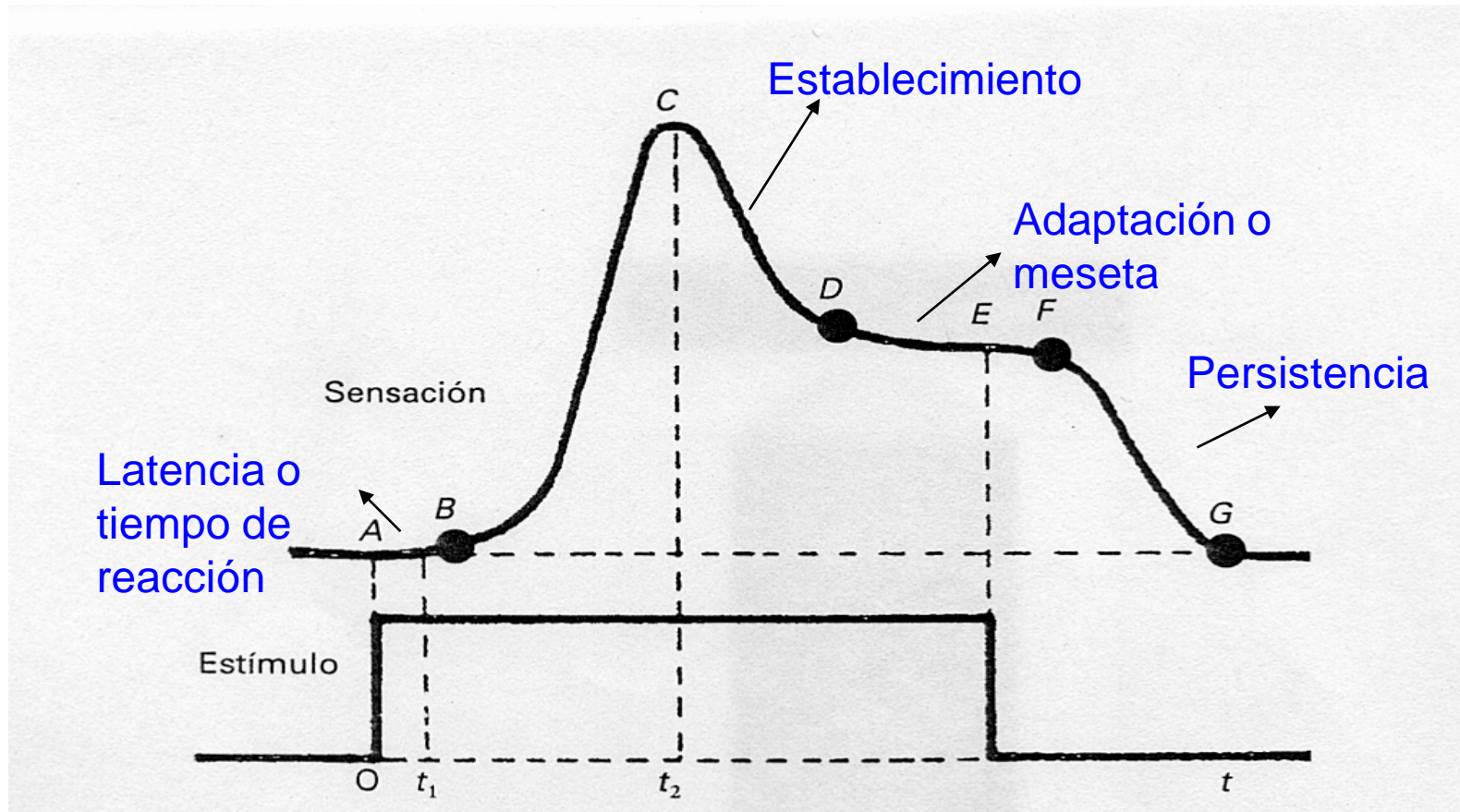
- La FCF aumenta cuando aumenta el diámetro pupilar debido a un incremento en la iluminación de la retina

■ Estado de adaptación de la retina

- Cuanto mayor es el nivel de adaptación a la luz mayor es la FCF

Evolución de la sensación luminosa

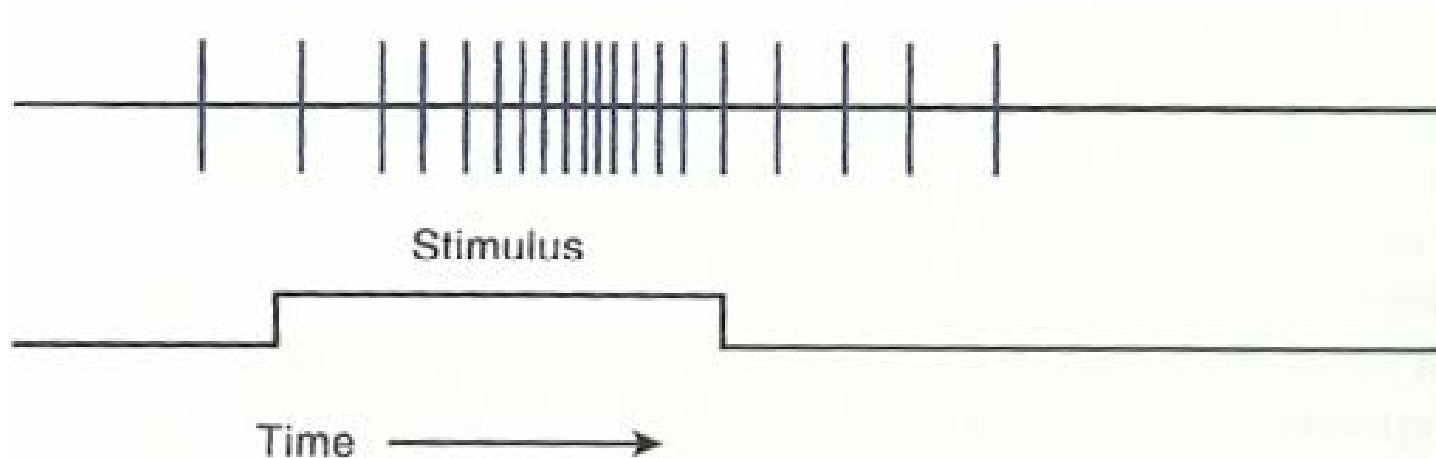
Respuesta del sistema visual a un estímulo cuadrado de cierta duración



Evolución de la sensación luminosa

■ Fases

- ❑ Latencia o tiempo de reacción
- ❑ Establecimiento de la sensación visual
- ❑ Adaptación o meseta
- ❑ Persistencia



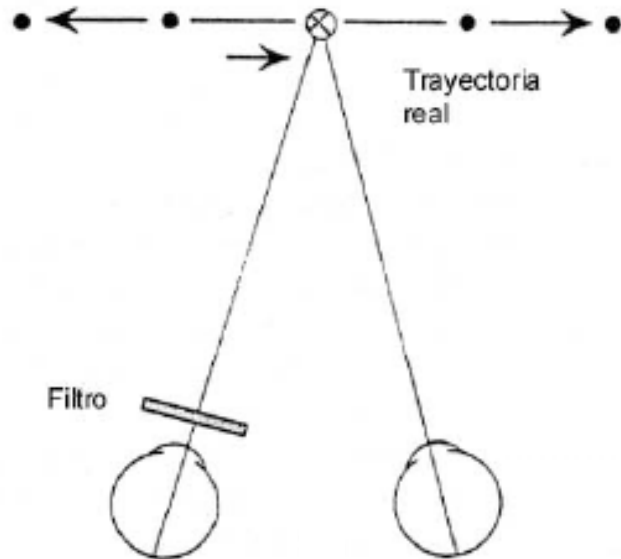
La frecuencia de los potenciales de acción (célula ganglionar) aumenta gradualmente y luego disminuye.

Fase de latencia

- Periodo de tiempo entre la presentación del estímulo y la aparición de la sensación
- Factores que influyen en la latencia
 - Luminancia del estímulo (experiencia del péndulo de Pulfrich)
 - Color del estímulo
 - Región de retina estimulada
 - Estado de adaptación

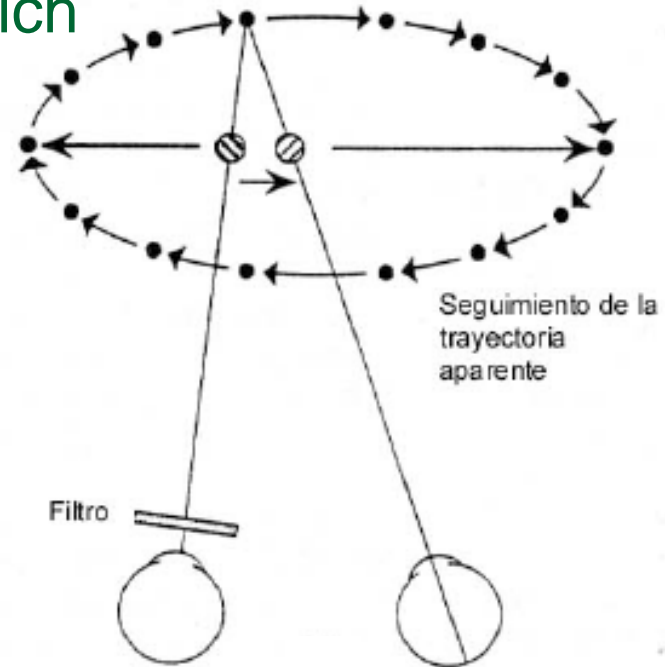
Fase de latencia: efecto de la luminancia

Experiencia del péndulo de Pulfrich



Péndulo oscilante en el plano fronto-paralelo.

El filtro disminuye la luminancia y retrasa la sensación



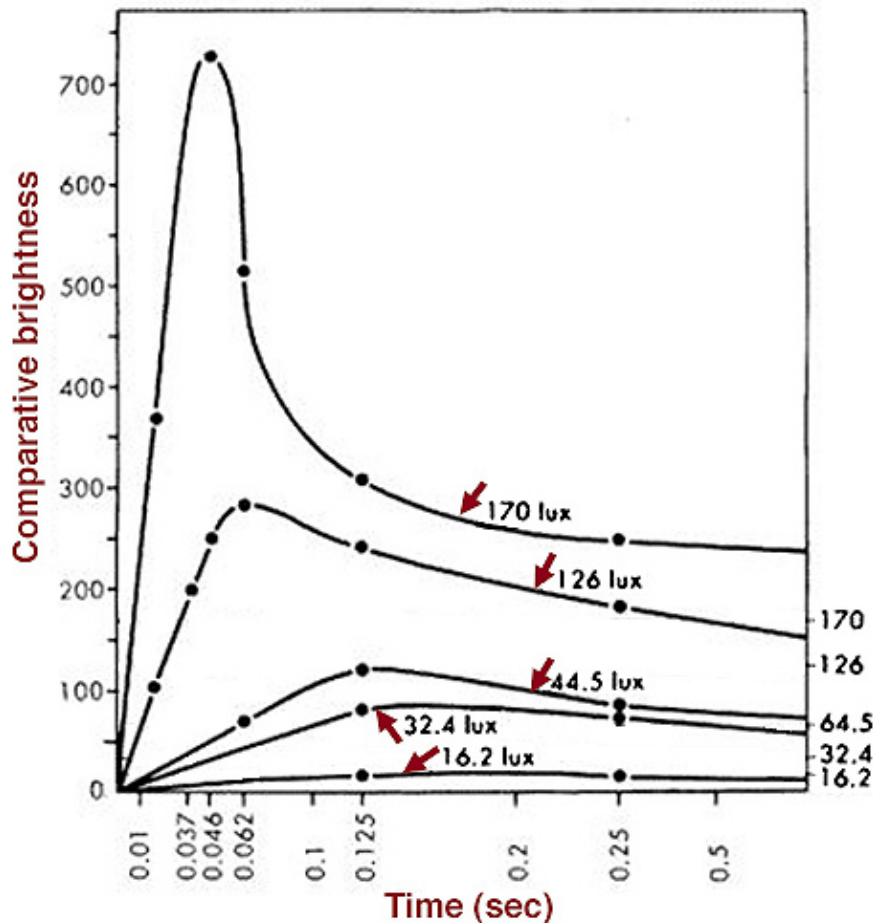
El ojo atenuado percibe la bola de péndulo retrasada y detrás de la posición vista por el ojo no atenuado.

Por tanto, cada ojo ve el péndulo en dos posiciones diferentes

La fusión de las imágenes da la impresión de que la bola traza un camino elíptico.

Fase de establecimiento y meseta

Efecto de Broca-Sulzer: describe el aumento transitorio aparente en el brillo de un flash.

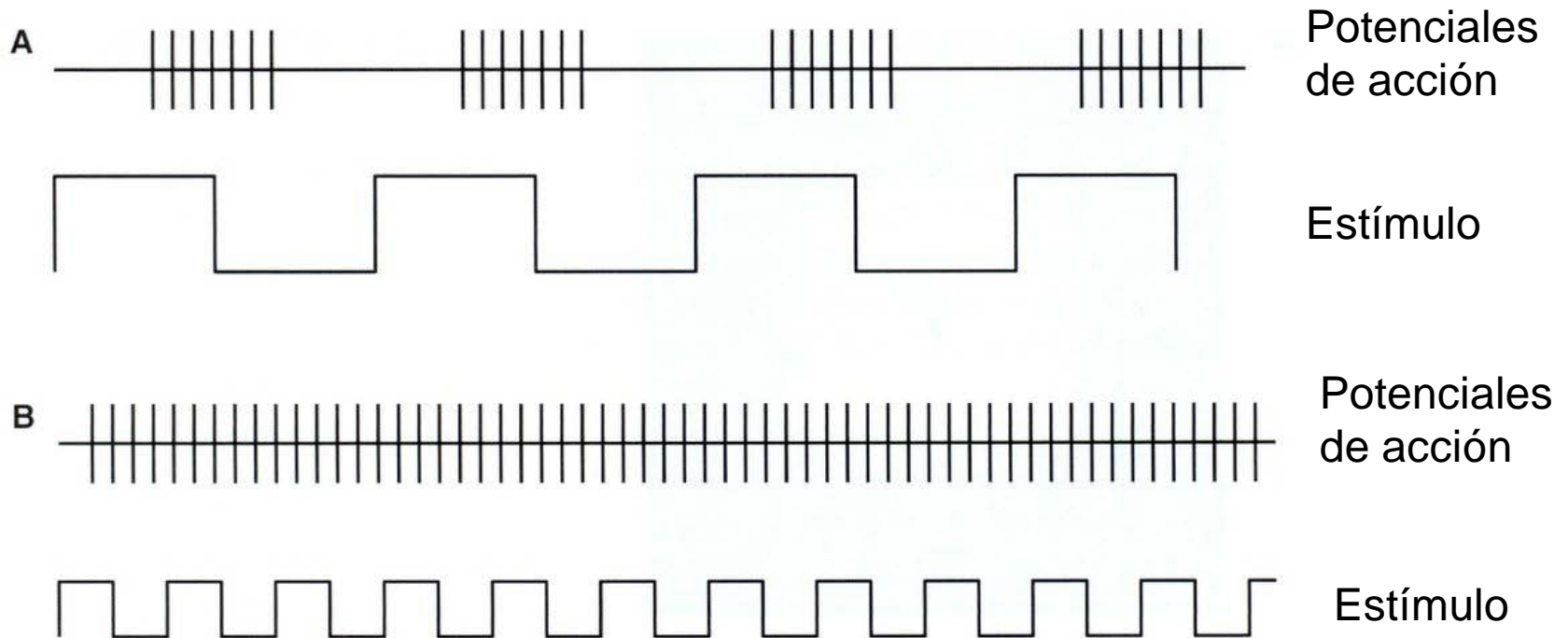


Con el tiempo el brillo decae hasta alcanzar una meseta

Fase de persistencia

La persistencia depende de la luminancia y de la longitud de onda

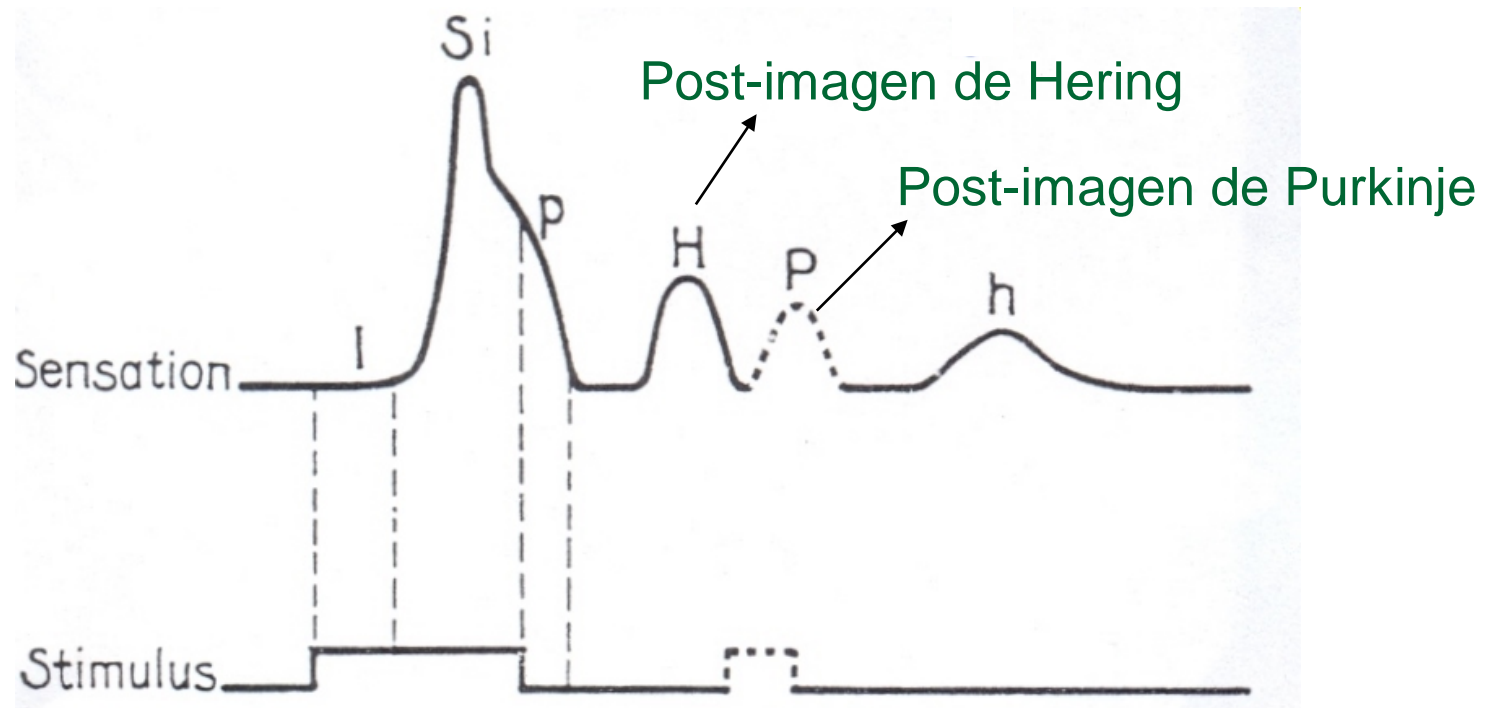
Interviene en la fusión temporal de las imágenes,
especialmente en el caso de iluminación intermitente



Desaparición de la sensación o post-imágenes

Contraste consecutivo: post-imagen positiva de Hering

Contraste consecutivo: post-imagen negativa de Purkinje





Gracias